

BASELINE DETERMINATION AS A GUIDE TO IDENTIFY SIGNAL EMITTED BY THE PROPULSION SYSTEM WITH BLIND SOURCE SEPARATION METHOD

Novitha L. Th. THENU^{*1}, I Made ARIANA², Dhany ARIFianto³ and Achmad ZUBAIDY⁴

¹Graduate Students, Faculty of Marine Technology, ITS-Surabaya.

*E-mail: vitry06@yahoo.com

²Department of Marine Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS-Surabaya.

³Department of Physics Engineering, Faculty of Industry Technology, ITS-Surabaya.

⁴Department of Naval Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS-Surabaya.

Abstract

This study focused on baseline measurements to obtain a baseline signal of each component of propulsion. This measurement is done using one sensor with a single source. From the results of the baseline signal is obtained, will be used as a reference for identifying signal - a signal emitted by the system using the method of Blind Source Separation (BSS) is a method that can recover a variety of independent sources that can be generated by a system by measuring the input and output of the system. Broadly speaking, the BSS is a signal processing technique that can extract or separate the sum of the output signal without knowing the characteristics and number of the source. The concept of this study was to monitor the condition of the propulsion system of a certain distance. In implementation, this concept is emphasized in the separation of sound signals emitted by some of the propulsion system using the algorithm of independent component analysis (ICA) are recorded using microphone array techniques with the assumption that the signal from the emission of each component is stationary and free. Separation process is performed using two techniques namely, time domain and frequency domain ICA. Signals that have been separated to be identified based on the baseline signal. The research was conducted under laboratory conditions.

Keywords : *baseline, propulsion, single source, blind source separation, independent component analysis.*

1. PENDAHULUAN

Sistem propulsi tersusun dari beberapa komponen propulsi. Komponen yang satu akan terhubung dengan komponen yang lainnya. Selama beroperasi sistem ini beroperasi, komponen – komponen tersebut saling bergesekan satu dengan lain sesuai dengan arah gaya yang bekerja. Hasil dari gesekan – gesekan tersebut menghasilkan bunyi yang dapat didengar (audible) maupun tidak didengar (non audible). Bunyi yang ditimbulkan dapat menjadi sumber informasi tentang kondisi komponen tersebut. Setiap komponen menghasilkan bunyi yang berbeda sehingga dapat diasumsikan bahwa bunyi yang tercipta bersifat independen/bebas. Dengan sifat independen inilah yang akan dipakai sebagai sumber bunyi yang dapat direcover dengan metode BSS – ICA menurut Comon [1994]. Blind source separation dengan kombinasi ICA dan beamforming telah dilakukan oleh Saruwatari et al. [2005]. Manfaat penting dari penentuan baseline sinyal komponen sistem propulsi adalah dasar untuk memonitor kondisi sistem tersebut. Ada berbagai metode untuk pengenalan bunyi. Sebagai besar melalui pemrosesan sinyal berdasarkan informasi karakteristik FFT.

Dalam beberapa tahun terakhir, aplikasi BSS atau ICA untuk dinamika struktur telah ditemukan dalam publikasi teknis. beberapa contoh ini adalah pemisahan sinyal dari sumber pencampuran konvolutif untuk diagnosis bantalan oleh Peled et al. [2005], ekstraksi robust dari sinyal mesin berputar di lingkungan bising oleh Serviere dan Fabry [2004], eksperimen kompresi data untuk identifikasi kerusakan oleh Zang et al. [2004], identifikasi sinyal mesin tertentu dari pengukuran sensor mesin yang kompleks oleh Gelle et al [2000]. Berdasarkan jenis pencampuran, BSS dapat diklasifikasikan sebagai linear seperti yang dijelaskan oleh Tong et al. [1991] atau nonlinear oleh Taleb dan Juten [1999], dimana campuran merupakan kombinasi linear atau nonlinear dari masing – masing sumber. Klasifikasi tambahan yaitu meliputi linier simultan pencampuran seperti yang telah dijelaskan oleh Tong et al. [1991] atau convolutive pencampuran oleh Taleb dan Juten [1999], yang dapat lebih diklasifikasikan lagi sebagai blind deconvolution.

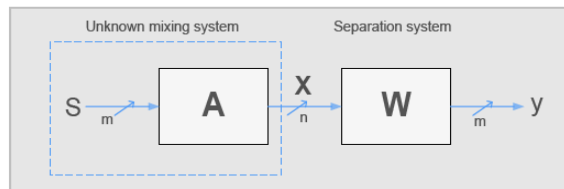
2. BLIND SOURCE SEPARATION

2.1 Blind Source Separation Model ICA (Independent Component Analysis)



Komponen – komponen sistem propulsi akan mengemisikan suara atau bunyi yang bercampur satu sama lain. Blind Source Separation (BSS) adalah teknik memisahkan sinyal yang lazim dipakai pada telekomunikasi nirkabel, dimana pengguna (telpon genggam,

internet nirkabel dll) selalu terhubung pada antenna (sensor) terdekat. Tugas sensor adalah memisahkan antara pengguna satu dengan yang lain sehingga pesan yang dikirim tidak salah alamat. Secara garis besar, BSS merupakan teknik untuk memisahkan jumlahan dari sinyal output tanpa mengetahui karakteristik dan jumlah sumbernya. Berdasarkan statistik sinyal masukan (independensi) maka dapat ditentukan komponen – komponen sinyalnya. Metode analisa komponen independen (Independent Component Analysis – ICA) inilah yang sering digunakan untuk menyelesaikan permasalahan BSS. Metode BSS dapat dijelaskan sebagai suatu metode pemisahan sumber secara *buta*, hanya diketahui sinyal sensor tanpa mengetahui proses pencampuran.



Gambar 1. Diagram blok proses ICA

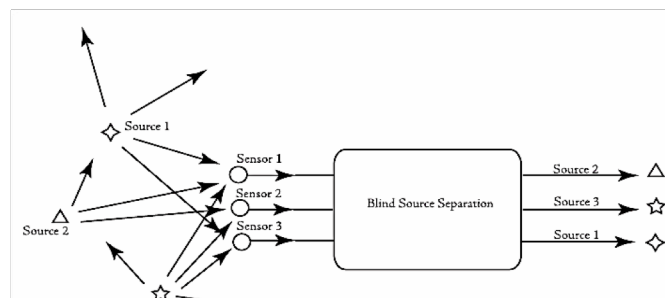
Pada gambar 1, suatu sistem pencampuran sinyal sumber yang tidak diketahui dicampur dengan faktor pencampur. Agar lebih mudah untuk dijelaskan faktor pencampur tadi dimodelkan dalam bentuk matrik pencampur. Sinyal campuran yang keluar dari sensor (microphone), kemudian dipisahkan lagi dengan menggunakan faktor pemisah sehingga sinyal output yang diperoleh dapat dipakai sebagai sinyal – sinyal yang diestimasi berdasarkan sinyal aslinya.

Tujuan dari algoritma BSS adalah bagaimana mendapatkan estimasi sumber S dari output pengukuran sensor X^T . Secara matematis, jumlahan sinyal akustik di atas dapat diformulasikan:

$$x = A * s + n \quad (1)$$

Dimana $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T \in R^m$ adalah vektor yang diukur sebagai sinyal scalar x_i , $s = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$ adalah vektor yang terdiri dari sinyal – sinyal sumber ($m \geq n$), $A \in R^{m \times n}$ adalah matrik pencampur yang tidak diketahui yang diatur dalam kolom, sedangkan $n \in R^m$ mewakili noise selama pengukuran. Dengan algoritma BSS akan dicari sinyal sumber $s(t)$, dimana keduanya telah terjumlah dalam x . Sistem Kerja BSS adalah memisahkan sinyal sumber (*source*, komponen independen, dalam hal ini bunyi) secara buta (*blind*), yakni tanpa mengetahui vektor jumlahan.

Permasalahan pada BSS adalah mengestimasi matriks jumlahan A dan sumber independen $s(t)$ untuk $x(t)$. Meskipun noise dapat diestimasi, $s(t)$ tidak dapat diperoleh secara eksak. Pendekatan untuk mengatasi masalah BSS ini dapat dilakukan dengan metode *Independent Component Analysis (ICA)*, yaitu dengan analisa bahwa sifat dari masing-masing sinyal bebas sehingga suatu informasi dari satu sinyal tidak bisa dicari dari sinyal yang lainnya. Pada gambar 1 di atas, sumber $s(t)$ diestimasi dengan sinyal $y(t)$, yang mana matrik $W = A^{-1}$. Skematik proses BSS ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Skematik proses BSS

Di dalam pemrosesan sinyal, sinyal dikatakan stasioner jika fluktuasi dari sinyal masih dalam batas atau range frekuensi yang telah ditentukan. Sehingga sinyal dapat dianggap sama mulai dari awal pengukuran sampai akhir atau stasioner. Contoh dari sinyal stasioner dengan bukan stasioner bisa dilihat pada gambar 3 di bawah ini. Pada gambar 3 yang atas adalah contoh sinyal stasioner, dimana fluktuasi dari sinyal hanya berkisar antara amplitudo – 5 sampai 5 sehingga sinyal bisa dikatakan stasioner. Untuk gambar 3 yang bawah, merupakan contoh dari sinyal non – stasioner yang mana fluktuasi dari sinyal lebih tajam, sehingga amplitudo tidak pada posisi segaris.

Gambar 3. Sinyal stasioner dan bukan stasioner

Suatu sinyal dapat ditampilkan dalam domain waktu dan domain frekuensi. Pada kedua domain inilah (waktu-frekuensi) biasanya analisa sinyal dilakukan. Pada domain waktu suatu sinyal dapat dituliskan,

$$x(t) = a \cos \omega_0 t \quad (2)$$

Dimana

$$\omega_0 = 2 \pi f_i \quad (3)$$

Maka persamaan 2 ditulis kembali menjadi

$$x(t) = a \cos \left(\int_0^t 2 \pi f_i(t) dt + \theta \right) \quad (4)$$

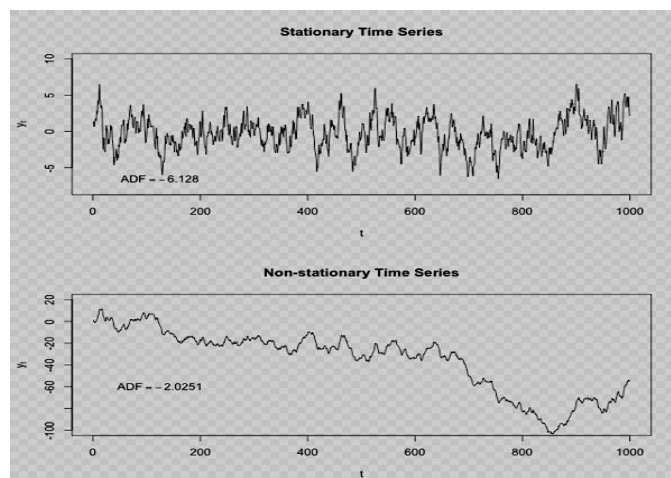
Perbedaan waktu tempuh sinyal menyebabkan adanya fase, yakni sudut ketika bergerak harmonis (cosinus), secara matematik dapat dituliskan,

$$\phi(t) = \left(\int_0^t 2 \pi f_i(t) dt + \theta \right) \quad (5)$$

Frekuensi sesaat didefinisikan sebagai turunan dari fase, sehingga frekuensi sesaat dapat diturunkan dari persamaan (5) di atas,

$$f_i(t) = \frac{1}{2 \pi} \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (6)$$

Frekuensi sesaat dikembangkan sebagai cara baru untuk meminimalisasi keterbatasan representasi/visualisasi parameter sinyal dari spektrogram yang berawal dari upaya dekomposisi sinyal dari transformasi Fourier yang bersifat linear.



2.2 Mean Square Error (MSE)

MSE di dalam statistik merupakan kuadrat rata-rata dari *error*. MSE adalah perbedaan antara sinyal asli (baseline) dengan sinyal estimasi. sinyal estimasi merupakan sinyal *output* dari sistem. Semakin kecil nilai MSE maka sinyal asli dengan sinyal estimasi mempunyai kesamaan. MSE digunakan untuk mengukur rata-rata kesalahan yang berasal dari kuantitas yang akan diestimasi.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S - S_e)^2$$

MSE = (7)

Dimana :

MSE = *Mean square error*
N = banyaknya *sample*
S = Sinyal asli
S_e = Sinyal estimasi

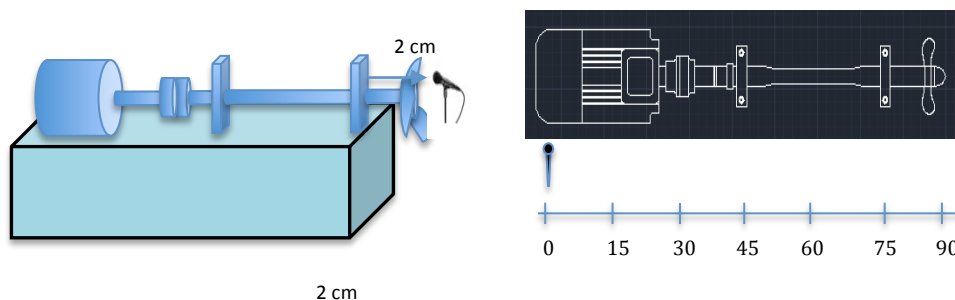
2.3 Penentuan Baseline

Bunyi komponen sistem propulsi yang dihasilkan bersifat stasioner atau tetap. Bunyi yang dihasilkan akan tetap sepanjang waktu jika tidak ada gangguan yang terjadi pada komponen – komponen sistem tersebut. Hal inilah yang bisa digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini sehingga identifikasi sinyal bisa dilakukan dengan lebih mudah. Acuan ini didapat dengan penentuan baseline sinyal yang diemisikan oleh komponen – komponen sistem propulsi.

Setiap komponen sistem propulsi tidak dapat beroperasi tanpa digerakkan oleh mesin induk, sehingga bunyi yang dihasilkan oleh mesin induk dan komponen – komponen lainnya akan bercampur. Langkah awal untuk mengidentifikasi sinyal bunyi adalah menentukan baseline sinyal dari masing – masing komponen propulsi. Berdasarkan statistik sinyal masukan (independensi) maka dapat ditentukan komponen – komponen sinyalnya.

2.3.1 Perekaman Sinyal Bunyi

Penentuan baseline dilakukan dengan perekaman bunyi sumber dengan mengarahkan sensor (mikrofon) terarah ke sumber bunyi. Perekaman ini dilakukan dengan menggunakan satu *sensor* dengan satu sumber. Mikrofon terhubung dengan M-Audio Fast Track Ultra dan Soundcard yang digunakan untuk proses perekaman. Proses perekaman ini dibantu dengan software Adobe Audition yang terpasang pada komputer. Hal – hal yang perlu diperhatikan saat perekaman adalah frekuensi sampling. Frekuensi sampling dalam perekaman ini adalah 11025 Hz, mono dan 32 bit. Frekuensi sampling ini dipakai dengan memperhatikan rentang frekuensi sinyal bunyi motor induk 0 - 50 Hz. Frekuensi sampling yang dipakai harus lebih besar atau sama dengan dua kali frekuensi maksimum untuk memenuhi kriteria Nyquist. $f_s \geq 2 \times f_i \rightarrow 2 \times 50 ; f_s \geq 100 \text{ Hz}$. Jarak antara mikrofon dan sumber bunyi adalah 20 cm, dengan mengikuti aturan untuk menghindari spatial aliasing telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Atmaja, 2009). Mikrofon ditempatkan pada posisi – posisi dengan jarak tertentu menjauhi sumber bunyi yang dijadikan sumber bunyi seperti yang ditampilkan pada gambar 4. Perekaman untuk masing – masing posisi dilakukan selama 5 detik dan dilakukan di ruang kedap suara untuk mengurangi noise yang mempengaruhi masukan bunyi pada mikrofon dan disimpan dalam file *.wav.



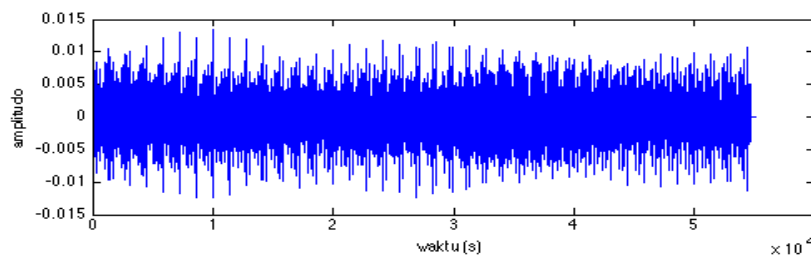
Gambar 4. Setingan perekaman

2.3.2 Pengolahan Sinyal Bunyi

Setelah proses perekaman sinyal bunyi dan diperoleh waveform, langkah selanjutnya adalah dengan merubah sinyal dalam domain waktu ke domain frekuensi dengan menggunakan software Matlab.

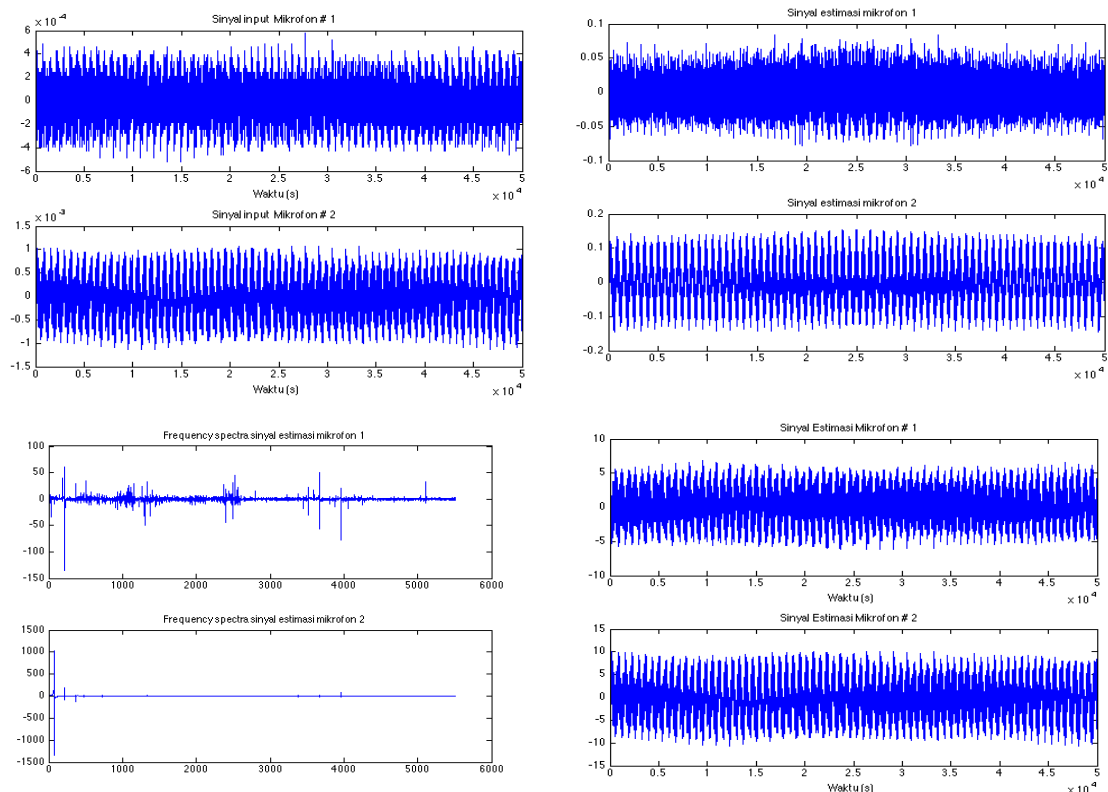
a. Sinyal *Baseline*

Pada gambar 5 di bawah ini ditunjukkan sinyal *baseline* dari motor induk, kopling dan bantalan dalam domain waktu. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sinyal mempunyai sifat stasioner atau mempunyai besaran amplitudo yang sama di setiap satuan waktu.



Gambar 5. Sinyal baseline motor induk

b. Sinyal Campuran dan Estimasi dari TDICA dan FDICA



Gambar 6. Sinyal campuran dan estimasi TDICA dan FDICA

Untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian antara sinyal rekonstruksi dengan sinyal *baseline* digunakan MSE (*Mean Square Error*) untuk mencari keakuratan dalam numerik serta untuk mengetahui performansi dari metode pemisahan yang digunakan. Hasil dari MSE untuk pemisahan dalam domain waktu dan frekuensi bisa dilihat pada tabel 1 di bawah ini :

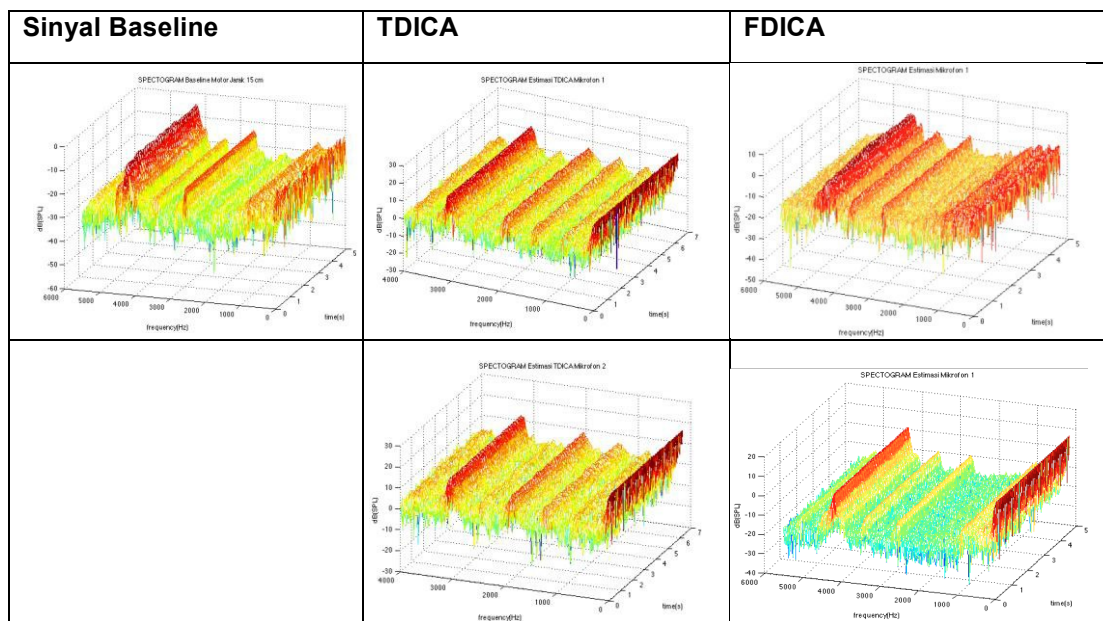
Tabel 1. MSE hasil pemisahan TDICA antara sinyal estimasi dengan sinyal Baseline

MSE	Sensor 1	Sensor 2
FDICA	0.2895	0.0416
TDICA	1.4088	0.3254

Dari tabel terlihat bahwa nilai MSE semakin kecil. Dari hasil nilai MSE di atas didapatkan nilai *error* paling kecil diantara kedua sinyal masukan pada sensor adalah sinyal pada sensor kedua yang letaknya sejajar dengan mesin yang ditinjau. Secara keseluruhan nilai dari *error* yang didapat berkisar antara 0 – 1 pada setiap sinyal masukan pada masing – masing sensor. Analisa MSE ini mengambil asumsi bahwa sinyal yang terukur mempunyai distribusi *non-gaussian*.

Untuk proses validasi sinyal hasil pemisahan dengan sinyal *baseline* baik dengan metode TDICA maupun FDICA, spektrum dari frekuensi sesaat untuk masing-masing sinyal ditunjukkan dalam format 3 dimensi agar pengamatan bisa dilakukan dengan lebih mudah. Frekuensi sesaat ini digambarkan dalam dalam grafik 3 dimensi yang mana sumbu x mempresentasikan frekuensi, sumbu y mempresentasikan tingkat amplitudo (dB SPL) dan sumbu z mempresentasikan waktu dalam satuan detik. Untuk warna merah mempresentasikan Bahwa kondisi mesin menghasilkan getaran yang tinggi atau amplitudo yang dihasilkan cukup tinggi, sedangkan untuk warna yang semakin biru, maka getaran yang dilakukan oleh mesin sangat rendah sehingga dihasilkan amplitudo yang rendah pula. Hal ini dapat dilihat pada table 2 berikut ini.

Tabel 2. Perbandingan frekuensi sesaat sinyal estimasi dengan sinyal baseline



3. KESIMPULAN

Penentuan baseline sinyal untuk masing – masing komponen propulsi dapat dilakukan dalam perekaman terhadap bunyi sumber komponen dalam suatu fungsi jarak. Dengan pengolahan sinyal dalam domain waktu dan frekuensi dengan sinyal baseline diperoleh nilai MSE yang

semakin kecil. Hal ini memberikan gambaran bahwa cara menentukan baseline dengan metode pengaturan posisi mikrofon sangat mempengaruhi tingkat keakuratan serta untuk mengetahui performansi dari metode pemisahan yang digunakan. MSE hasil pemisahan dengan FDICA antara sinyal rekonstruksinya dengan sinyal baseline untuk sensor 1 sebesar 0.2895 dan sensor 2 sebesar 0.0416 sedangkan MSE hasil pemisahan dengan TDICA antara sinyal rekonstruksinya dengan sinyal baseline untuk sensor 1 sebesar 1.4088 dan sensor 2 sebesar 0.3254. Penggunaan jumlah sensor yang lebih besar dari jumlah sumber disarankan untuk mengetahui performansi dari metode pemisahan sinyal.

REFRENSI

- Comon, P. (1994) : Independent component analysis, a new concept ?, *Signal Process.*, vol.36, pp.287–314.(Journal).
- H. Saruwatari, S. Kurita, K. Takeda, F. Itakura, T. Nishikawa, and K. Shikano (2003) : Blind source separation combining independent component analysis and beamforming, *EURASIP J. Applied Signal Processing*, vol.2003, pp.1135–1146.
- R. Peled, S. Braun, M. Zacksenhouse (2005) : A blind deconvolution separation of multiple sources with application to bearing diagnostics *Mechanical Systems and Signal Processing* 19 (6) pp.1181–1195.
- C. Serviere, P. Fabry, Blind source separation of noisy harmonic signals for rotating machine diagnosis, *Journal of Sound and Vibration* 272 (1–2) (2004) pp.317–339.
- C. Zang, M.I. Friswel, M. Imregun (2004) : Structural damage detection using independent component analysis, *Structural Health Monitoring* 3 (1) pp.69–83.
- G. Gelle, M. Colas, G. Delaunay (2000) : Blind source separation applied to rotating machines monitoring by acoustical and vibrations analysis, *Mechanical Systems and Signal Processing* 14 (3) pp. 427–442.
- L. Tong, R.W. Liu, V.C. Soon, Y.F. Huang (1991): Indeterminacy and identifiability of blind identification, *IEEE Transactions on Circuits and Systems* 38 (5) (1991) 499–509.
- A. Taleb, C. Jutten (1999) : Source separation in post-nonlinear mixtures, *IEEE Transactions on Signal Processing* 47 (10) pp. 2807–2820.
- Atmaja, B.,T., (2009) : Machines Sound Separation from Microphone Array using Independent Component Analysis (ICA) for Fault Detection|| Indonesia, *Teknik Fisika-ITS*.